

А. А. Калонов^{1*}, А. Ю. Волков²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

²Институт физики металлов УрО РАН имени М. Н. Михеева, г. Екатеринбург

**azambek-k@mail.ru*

Научный руководитель – д-р техн. наук *А. Ю. Волков*

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ Cu–Mg

Разработаны технологии по получению высокопрочных композитных проводов на основе Cu–Mg. Методом гидроэкструзии сформирован композитный провод с большим количеством волокон магния. Проведены эксперименты по получению композитного провода Cu–Mg путем введения смеси из порошков меди и магния. Исследована микроструктура полученных композитов. Проведены измерения электрических и механических свойств.

Ключевые слова: медь, композит, магний, проводник, гидроэкструзия, деформация, температура, прочность.

A. A. Kalonov, A. Yu. Volkov

DEVELOPMENT OF HIGH STRENGTH COMPOSITE WIRES BASED ON CU-MG

The techniques to obtain high-strength Cu–Mg composite wires were developed. Hydrostatic extrusion method was used to obtain the Cu–Mg composite wire with lots of magnesium fibers. Also the experiments to acquire a composite wire from the mixture of copper and magnesium powders were conducted. The microstructure of obtained composites was investigated. The electrical and mechanical properties were measured.

Keywords: copper, composite, magnesium, conductor, hydrostatic extrusion, deformation, temperature, strength.

Медь и ее сплавы нашли применение в автомобильной, авиационной и электронной промышленности в качестве проводников электрического тока. По сравнению с другими металлами, медные проводники имеют ряд преимуществ: невысокое удельное сопротивление, высокую стойкость к коррозии и хорошую деформируемость до микронных размеров. Основным недостатком меди является ее невысокая прочность. Поэтому в настоящее время рассматриваются различные методы упрочнения медных проводников, без ухудшения проводимости и других физико-химических свойств. В качестве примера высокопрочных медных сплавов можно

привести сплавы Cu–Be, недостатком которых являются токсичность и высокая стоимость. На сегодняшний момент имеется большой спрос на проводниковые материалы, которые являются нетоксичными, экологически чистыми и имеют набор высоких функциональных свойств (высокая электропроводность, достаточная прочность и т. д.). Например, введение небольшого количества магния (не более 3 ат. %) приводит к увеличению прочности меди более чем в два раза с сохранением проводимости на высоком уровне. Целью настоящей работы является создание технологии получения композита Cu–Mg с последующим изучением прочностных и электрических свойств.

Композитный материал был сформирован методом гидроэкструзии на лабораторной установке М-20 в ИФМ УрО РАН. Для его формирования магниевый пруток помещался в медный контейнер, после чего эта заготовка подвергалась интенсивной пластической деформации до получения тонкой проволоки. Набор из 400 таких проволок вновь помещался в медный контейнер, и процесс повторялся (рис. 1). Таким образом, была отработана технология получения композита, медная матрица которого содержит от 400 до нескольких миллионов тонких магниевых волокон. На каждом из этапов проводилось изучение прочностных и проводящих свойств образцов композита.

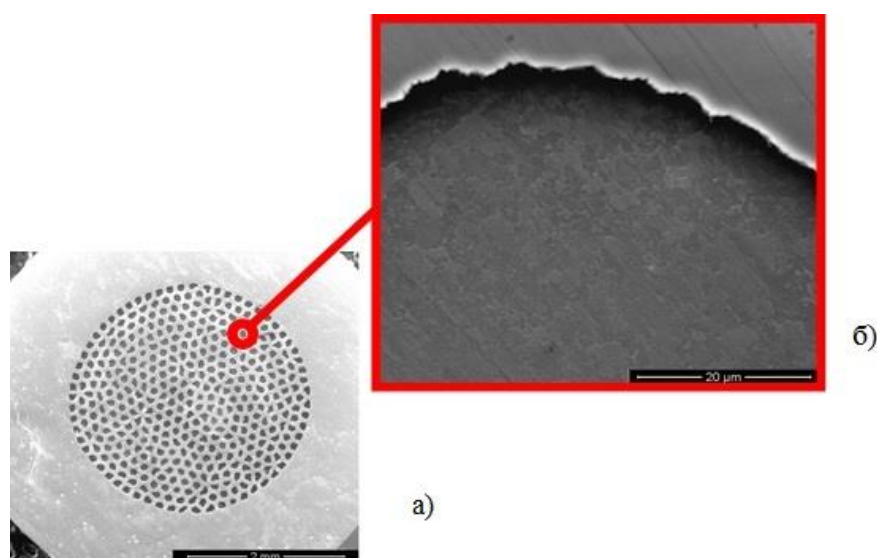


Рис. 1. Внешний вид композита Cu–Mg:

- a* – макроструктура композита, содержащего 400 магниевых волокон;
б – граница магниевое волокна и медной оболочки

На основании полученных результатов в технологию получения композитов было внесено изменение: вместо магниевой заготовки, в медный контейнер было решено помещать смесь из порошков меди и магния. Содержание магния в порошковой смеси варьировали от 8,1 до

23,0 ат. % [1]. Такой способ позволяет легко изменять соотношение компонентов, влияя тем самым на функциональные характеристики композита. Контейнер с находящейся внутри него смесью порошков подвергался гидроэкструзии при комнатной температуре, в результате чего диаметр исследуемого образца уменьшался от 20 мм до 6 мм (рис. 2).



Рис. 2. Заготовка композита Cu–Mg, полученная в результате гидроэкструзии

Далее деформация осуществлялась волочением: от диаметра 6 мм до 1,5 мм (образцы для механических испытаний) и до диаметра 0,22 мм (для измерения электрических свойств). Промежуточные отжиги проводились при температуре 200 °С в течение 1 ч. Заключительная термообработка осуществлялась при температуре 700 °С от 5 до 15 минут. Температура 700 °С была выбрана для максимальной растворимости магния в меди [1]. Кроме того, в ходе термообработок на границе интерфейса порошка и медной матрицы могут образовываться интерметаллиды, что также может привести к увеличению прочности композита.

Механические испытания помогли найти условия получения композита с набором оптимальных свойств. Удельное электрическое сопротивление материала $\rho = 2,22 \cdot 10^{-8}$ Ом · м, что составляет 77 % IACS. По результатам работы можно сделать вывод, что разработанная технология имеет перспективы с точки зрения формирования высокопрочных проводников электрического тока.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Деформация», № 01201463327).

1. Microstructural design of new high conductivity – high strength Cu-based alloy / S. Gorsse [и др.] // Journal of Alloys and Compounds. 2015. № 633. P. 42–47.